

**ANALISIS GANGGUAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN METODE ROOT CAUSE ANALISYS (RCA)
DI PT PLN APP PURWOKERTO GARDU INDUK 150 KV PEKALONGAN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

DIBYO WIDODO

D400 150 017

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS GANGGUAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN METODE ROOT CAUSE ANALISYS (RCA)
DI PT PLN APP PURWOKERTO GARDU INDUK 150 KV PEKALONGAN**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

DIBYO WIDODO

D400 150 017

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. JATMIKO, M.T
NIK. 622

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS GANGGUAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK MENGUNAKAN METODE ROOT CAUSE ANALISYS (RCA) DI PT PLN APP PURWOKERTO GARDU INDUK 150 KV PEKALONGAN

OLEH

DIBYO WIDODO

D400 150 017

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin 16 Juli 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Jatmiko, M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Umar, S.T., M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,


Dr. Sri Suparjono, M.T, Ph. D
NIK. 628

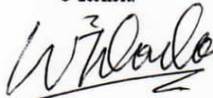
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 10 Juli 2019

Penulis



DIBYO WIDODO

D400 150 017

**ANALISIS GANGGUAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN METODE ROUTE CAUSE ANALYSIS (RCA)
DI PT PLN APP PURWOKERTO GARDU INDUK 150 KV PEKALONGAN**

Abstrak

Besarnya kebutuhan terhadap tenaga listrik menjadi prioritas utama bagi masyarakat. Kehidupan manusia saat ini tidak bisa lepas dari peranan energi listrik. Sementara itu, pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, serta perkembangan IPTEK yang semakin cepat yang mengakibatkan bertambahnya konsumsi listrik. Saluran transmisi adalah termasuk bagian sistem tenaga listrik yang memiliki peranan sangat penting dalam menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Seringnya saluran transmisi mengalami berbagai masalah dan dampak masalah yang dirasakan oleh konsumen salah satunya berupa pemadaman listrik. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakanlah metodologi root cause analisis di penelitian ini untuk menentukan akar penyebab masalah pada saluran transmisi listrik di Gardu Induk 150 kV Pekalongan. Penemuan akar penyebab masalah yang terjadi, diinginkan dapat mencegah terjadinya masalah atau gangguan sama di hari yang akan datang dan dapat memberikan usulan tindakan korektif agar dapat menurunkan kasus gangguan tersebut. Berdasarkan hasil analisa penelitian didapatkan dua belas akar penyebab gangguan saluran transmisi di Gardu Induk 150 kV Pekalongan dan ada beberapa gangguan yang paling sering terjadi diantaranya yaitu terjadinya arus yang melebihi dari kekuatan alat, terjadi pembentukan karat (korosi) pada konduktor, pemasangan alat ataupun komponen yang kurang teliti, kurangnya inspeksi lapangan dan sosialisasi dengan masyarakat sekitar. Menurut data pencapaian kinerja di Gardu Induk 150 kV Pekalongan diketahui tingkat TLOF (*Transmission Lines Outage Frequency*) yang terjadi sepanjang 2018 sebesar 0,487 kali per kilo meter sirkuit (kms). Sementara untuk indikator TLOD (*Transmission Line Outage Durations*) mencapai angka 2,145 jam/kms. Berdasarkan penelitian secara menyeluruh terhadap pencapaian kinerja di Gardu Induk 150 kV Pekalongan yang menunjukkan meningkatnya frekuensi masalah yang terjadi di saluran transmisi dan meningkatnya durasi masalah pada saluran transmisi.

Kata Kunci: Transmisi, Masalah, Konsumen, RCA.

Abstract

The amount of demand for electricity is a top priority for the community. Human life today cannot be separated from the role of electric energy. Meanwhile, population growth, economic growth, and the rapid development of science and technology which resulted in increased electricity consumption. The transmission line is a part of the electric power system which has a very important role in channeling electrical energy from one place to another. Often the transmission channel experiences various problems and the impact of the problems felt by consumers is one of them is a power outage. The effort to overcome this problem was used the root cause analysis methodology in this study to determine the root cause of the problem in the electricity transmission line at the 150 kV substation in Pekalongan. Finding the root cause of the problem that occurs, can be desired to minimize the occurrence of the same problem or disturbance on the next day and can provide corrective action proposals in order to reduce the case of the disorder. Based on the results of the research analysis, there were twelve root causes of the transmission channel disruption in the 150 kV Pekalongan Substation and there were some of the most common disturbances including the occurrence of currents that exceeded the strength of the device, corrosion occurred in the conductor, installation of

tools or components not thorough, lack of field inspection and socialization with the surrounding community. According to data on performance achievement in the Pekalongan 150 kV Substation it is known that the TLOF (Transmission Lines Outage Frequency) level that occurred throughout 2018 was 0.487 times per kilo meter circuit (kms). Meanwhile, the Transmission Line Outage Durations (TLOD) indicator is 2,145 hours / kms. Based on the overall research on performance achievement in the 150 kV Pekalongan Substation, it shows the increasing frequency of problems occurring in the transmission line and the increasing duration of problems in the transmission line.

Keywords: Transmission, Problems, Consumers, RCA.

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang menjelaskan suatu proses listrik dari pembangkitan hingga menuju beban yang saling berhubungan untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi (Nugroho, 2017). Transmisi tenaga listrik merupakan penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi (*substation distribution*) hingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik (Hutauruk, 1985). Sementara itu, salah satu bagian sistem tenaga yang sering terjadi gangguan adalah saluran transmisi. Faktor alam dan penggunaan saluran transmisi yang berada diatas tanah menyebabkan saluran transmisi rentan terhadap terjadinya gangguan. Penentuan gangguan saluran transmisi sangat penting untuk mempercepat proses perbaikan (Stevenson, 1983).

Aslimeri (2008) berpendapat jenis gangguan yang seringkali kejadian pada saluran transmisi listrik, diantaranya hubung singkat, kawat putus, sambaran petir dan lain sebagainya. Penentuan masalah pada saluran transmisi yaitu untuk mempercepat operasi perbaikan karena sangatlah penting (Arismunandar, 2004). Gangguan hubung singkat yang terjadi dengan resistansi begitu besar dapat menyebabkan jalannya arus normal menjadi terganggu. Keadaan masalah tersebut bisa membuat tak terdeteksinya kerugian yang dialami. Jarak penyaluran yang terlalu jauh, dapat menyebabkan sistem transmisi rentan terhadap terjadinya gangguan karena saluran transmisi yang melewati atas tanah dan faktor alam (Lucez, 1996).

Berdasarkan dampak gangguan yang dirasakan oleh konsumen berupa pemadaman listrik, maka dalam penelitian ini berupaya untuk menemukan akar yang menjadi penyebab masalah, dan mampu mengurangi masalah atau gangguan yang sama dan dapat mengusulkan tindakan korektif untuk mengurangi kejadian gangguan tersebut. Metode yang digunakan untuk permasalahan tersebut yaitu root causes analysis (RCA).

PT. PLN (Persero) APP Purwokerto Gardu Induk Pekalongan 150 kV perlu dilakukan analisis tingkat kinerja dengan menghitung frekuensi dan durasi gangguan yang terjadi selama periode dan selanjutnya diidentifikasi faktor – faktor penyebab gangguan saluran transmisi listrik, sehingga dapat mendasari perusahaan untuk menentukan strategi yang tepat untuk meminimalisir gangguan yang terjadi.

2. METODE

Tahapan-tahapan penulis melakukan penelitian sebagai berikut ini:

2.1 Study Pustaka atau Literatur

Mengumpulkan berbagai buku sebagai referensi, jurnal-jurnal, artikel, dan lainnya yang mendukung dengan tema skripsi untuk rujukan untuk memperlancar dan mempermudah dalam menyelesaikan penelitian tersebut.

2.2 Pengumpulan Data Penelitian

Pengumpulan data penelitian yang dilaksanakan di Gardu Induk 150 kV Pekalongan. Data yang dibutuhkan mencakup data gangguan saluran transmisi, dan data penyebab gangguan saluran transmisi.

2.3 Analisis Data

Memeriksa dan mengecek data yang didapatkan dari Gardu Induk 150 kV Pekalongan untuk dipastikan apakah data yang dibutuhkan sudah lengkap.

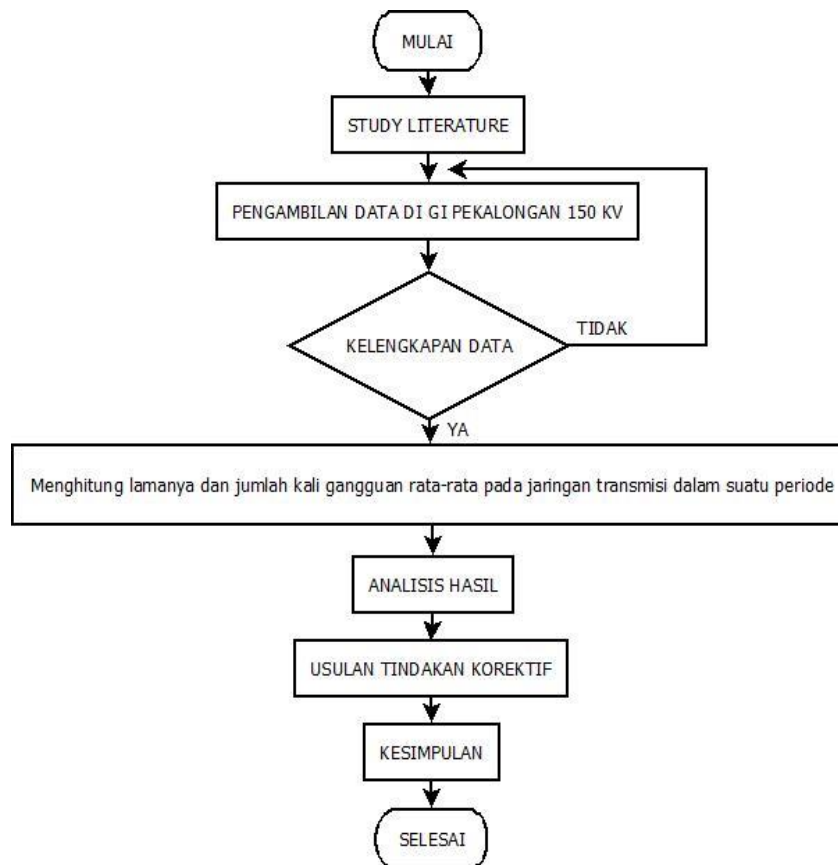
2.4 Analisis Perhitungan

Menghitung durasi dan frekuensi gangguan rata-rata yang terjadi pada saluran transmisi dalam satu periode.

2.5 Analisis Hasil

Hasil perhitungan matematis dan menjabarkan penyebab gangguan yang terjadi pada saluran transmisi. Kemudian menyertakan usulan tindakan korektif.

2.6 Flowchart



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.7 Metode RCA

Metode Root Cause Analysis (RCA) ada empat proses tahapan menurut Rooney dan Heuvel (2004) yang terdiri dari:

- 1) Tahap pertama, Mengumpulkan data. Tahapan mengumpulkan data dilakukan untuk memperoleh beberapa informasi yang dibutuhkan dengan tujuan sebagai bahan identifikasi masalah yang terjadi sebelum memasuki tahap analisis.
- 2) Tahap kedua, Pembuatan diagram faktor-faktor penyebab masalah. Membuat *fishbone chart* yang digunakan ketika akan mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah yang terjadi. Faktor penyebab masalah merupakan beberapa hal masalah yang disebabkan oleh kontribusi (kegagalan komponen ataupun kesalahan manusia) pada kejadian tersebut, yang apabila dihilangkan dapat mampu mengurangi keparahan terhadap masalah.
- 3) Tahap ketiga, Identifikasi akar masalah. Langkah ini merupakan identifikasi akar masalah yang dilakukan setelah tahapan pembuatan diagram faktor-faktor penyebab masalah yang bertujuan untuk membantu menemukan beberapa alasan mengapa masalah itu bisa terjadi yang membuat masalah itu bisa untuk dapat diatasi.

- 4) Tahap keempat, Pemberian Rekomendasi. Langkah ini merupakan pemberian rekomendasi yang dilakukan setelah identifikasi masalah bertujuan untuk meminimalisir terjadinya kesalahan yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data sebagai berikut:

Tabel 1. Data gangguan saluran transmisi di gardu induk 150 kV pekalongan tahun 2018

Bulan	Jumlah Gangguan (Kali)	Lama Gangguan (Jam)
Januari	2	8
Februari	1	1
Maret	0	0
April	1	14
Mei	1	1,2
Juni	2	3
Juli	0	0
Agustus	1	1
Septembr	0	0
Oktober	0	0
November	0	0
Desember	0	0
Jumlah	8	35,2

Tabel 2. Data penyebab masalah saluran transmisi di gardu induk 150 kV pekalongan tahun 2018

Faktor Penyebab	Penyebab Gangguan	Keterangan
Bahan materil	Kekuatan bahan yang jelek	Gangguan yg terjadi biasanya disebabkan oleh faktor material yang jelek sehingga proses transmisi listrik menjadi terganggu. Contohnya konduktor yang sudah keropos.
Alat	Kerusakan pada alat	Masalah teknis yang terjadi pada peralatan yang menyebabkan alat tidak dapat berfungsi dengan baik. Contohnya distance protection relay trip, PMT tidak terhubung relay,DC putus.
Lingkungan	Gangguan Alam	Gangguan alam yang tidak dapat diprediksi yang membuat masalah pada saluran transmisi listrik. Contohnya isolator pecah karena petir, pohon tumbang yang menyebabkan jaringan listrik mengalami gangguan.
Manusia	Kegiatan ataupun kelalaian manusia	Gangguan ini karena aktivitas manusia yang dapat menyebabkan jaringan listrik mengalami gangguan. Contoh penebangan pohon yang kurang

hati-hati sehingga mengenai konduktor, gangguan yang disebabkan oleh layangan yang menyangkut di konduktor.

3.1 Perhitungan

Merujuk pada SE. DIR 0003.E/DIR/2016 yang berisi tentang bagaimana cara menghitung nilai kinerja perusahaan milik PLN dengan edaran direksi PT PLN (Persero) yang digunakan sebagai acuan dalam menghitung nilai kinerja milik PLN dan anak perusahaannya, maka pengertian dari :

Menghitung lamanya (durasi) dan jumlah kali (frekuensi) masalah rata-rata yang terjadi pada saluran transmisi dalam satu periode.

Perhitungan TLOD (*Transmission Line Outage Duration*) adalah menghitung lamanya gangguan rata-rata pada jaringan dalam suatu periode. Dengan formula perhitungan sebagai berikut:

$$\text{TLOD} = \frac{\text{Lama sirkit padam karena gangguan}}{\text{Panjang jaringan beroperasi}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{TLOD} = \frac{35,2 \text{ jam}}{16,405 \text{ kms}}$$

$$\text{TLOD} = 2,145 \text{ jam/kms}$$

Keterangan :

- Gangguan yang terjadi akan mulai dihitung dari terjadinya gangguan sampai siap dibebani lagi.
- Batas lamanya terjadi gangguan tidak boleh melebihi 3 hari.
- Jika meluasnya gangguan karena transmisi, maka gangguan yang terjadi akan dihitung dari terjadinya gangguan sampai siap dibebani lagi.
- Berdasarkan beroperasinya keseluruhan jaringan transmisi dalam satu periode akan dihitung jumlah (frekuensi) panjang jaringan transmisi sejak tanggal 1 Januari.
- Apabila aset baru mengalami gangguan, maka akan masuk hitungan jika sudah beroperasi selama 3 bulan.
- Jika terjadi trip sesaat setelah penormalan, maka akan dihitung termasuk gangguan.

Perhitungan TLOF (*Transmission Line Outage Frequency*) adalah menghitung jumlah kali (frekuensi) masalah rata-rata yang terjadi pada saluran transmisi dalam satu periode. Dengan formula perhitungan sebagai berikut:

$$\text{TLOF} = \frac{\text{Jumlah kali sirkit padam karena gangguan}}{\text{Panjang jaringan beroperasi}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{TLOF} = \frac{8 \text{ kali}}{16,405 \text{ kms}}$$

TLOF = 0,487 kali/kms

Keterangan :

- a. Jika meluasnya gangguan karena transmisi, maka gangguan tersebut dihitung satu kali.
- b. Berdasarkan beroperasinya keseluruhan jaringan transmisi dalam satu periode akan dihitung jumlah (frekuensi) panjang jaringan transmisi sejak tanggal 1 Januari.
- c. Apabila aset baru mengalami gangguan, maka akan masuk hitungan jika sudah beroperasi selama 3 bulan.
- d. Jika terjadi trip sesaat setelah penormalan, maka akan dihitung termasuk gangguan.

3.2 Analisa hasil

Analisa ini digunakan dengan tujuan untuk menjabarkan berbagai masalah yang terjadi pada jaringan transmisi. Berdasarkan data yang sudah diolah diperoleh beberapa penyebab masalah yang terjadi pada jaringan transmisi, diantaranya yaitu :

Material:

Kualitas alat yang digunakan tidak baik. Hal ini bisa menyebabkan konduktor tidak bekerja dengan baik.

Gangguan alat:

- 1) Tidak terhubungnya PMT (Saklar pemutus tenaga) dengan relay. Apalagi tidak terhubungnya PMT dengan relay maka yang terjadi pada relay adalah tidak dapat menyampaikan perintah yang akan dilakukan oleh PMT. Gangguan ini bisa menyebabkan kerusakan pada komponen yang lainnya dan akan memperluasnya gangguan yang terjadi.
- 2) Sumber tenaga (Direct Current atau DC) putus. Karena DC adalah sumber energi bagi relai, maka jika relai tidak mendapat sumber tenaga yang tidak dapat membuat bekerjanya relay dengan baik.
- 3) Perbedaan terhadap alat ukur waktu yang digunakan.

Gangguan lingkungan:

- 1) Kelebihan arus yang membuat alat tidak mampu menetralkan saat terjadinya gangguan arus. Gangguan ini terjadi biasanya dikarenakan faktor alam contohnya sambaran petir. Sambaran petir menghasilkan arus yang sangat besar dan tidak dapat dihitung.

- 2) Keadaan tanah yang terlalu kering. Jika tanah terlalu kering maka akan terjadi besarnya nilai pentanahan. Nilai pentanahannya yang cukup besar dapat mempengaruhi pada saat penyaluran gangguan arus ke tanah.

Kesalahan manusia:

- 1) Komponen yang kurang lengkap mengakibatkan alat tidak berfungsi dengan baik.
- 2) Penebangan pohon sembarangan yang mengenai saluran transmisi listrik.
- 3) Permainan layang-layang yang menyangkut di saluran transmisi listrik.
- 4) Pengawasan yang kurang saat pemasangan alat.
- 5) Cara memasang alat yang kurang baik, menyebabkan alat tidak terpasang dengan baik.
- 6) Kurangnya pemeliharaan alat.

3.3 Usulan tindakan korektif

Tahapan ini merupakan tahapan mencari tindakan korektif yang tepat. Tindakan korektif merupakan suatu yang sangat penting sebagai mekanisme yang bertujuan solusi untuk meminimalisir ataupun menghilangkan penyebab ketidaksesuaian yang ditemukan atau situasi yang tidak dikehendaki. Berdasarkan penyebab yang terjadi pada hasil analisa maka tindakan korektif ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya gangguan yang sama pada salurann transmisi, sebagai berikut:

- 1) Harus mempertimbangkan pengadaan jumlah *Transmission Line Arrester* (TLA) yang terpasang di titik-titik rawan yang sering terkena sambaran petir.
- 2) Mengganti konduktor aluminium berinti kawat baja (ACSR) yang biasa dipakai untuk jalur transmisi dengan konduktor aluminium conductor composite core (ACCC) karena kuat dan lebih ringan dari baja, mengecilkan losses 25% sampai 40% dibanding konduktor lain.
- 3) Harus meningkatkan pengawasan pada saat pemasangan alat ataupun komponen.
- 4) Harus lebih teliti dan hati-hati pada saat pemasangan alat ataupun komponen.
- 5) Peningkatan pemeliharaan alat secara rutin.
- 6) Peningkatan inpeksi lapangan.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian mengenai gangguan transmisi di Gardu Induk 150 kV Pekalongan, diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Ada 4 faktor gangguan yang terjadi pada saluran transmisi diantaranya yaitu: gangguan bahan material, gangguan alat, gangguan alam dan kesalahan manusia.
2. Dari penjabaran penyebab masalah yang terjadi pada saluran transmisi listrik diketahui dua belas masalah yang terjadi dengan berdasarkan kejadian yang sering terjadi adalah kemampuan alat yang tidak mampu ketika terjadinya arus lebih, korosi yang terjadi pada konduktor, pemasangan alat ataupun komponen yang kurang teliti, kurangnya inpeksi lapangan dan sosialisai dengan masyarakat sekitar.
3. Usulan tindakan korektif terhadap masalah yang terjadi pada saluran transmisi berdasarkan faktor penyebab masalah yang sering terjadi yaitu
 - a) Harus mempertimbangkan pengadaan jumlah *Transmission Line Arrester* (TLA) yang terpasang di titik-titik rawan yang sering terkena sambaran petir.
 - b) Mengganti konduktor aluminium berinti kawat baja (ACSR) yang biasa dipakai untuk jalur transmisi dengan konduktor aluminium conductor composite core (ACCC) karena kuat dan lebih ringan dari baja, mengecilkan losses 25% sampai 40% dibanding konduktor lain.
 - c) Harus lebih teliti dan hati-hati pada saat pemasangan alat ataupun komponen.
 - d) Meningkatkan inpeksi lapangan dan sosialisasi kepada masyarakat terhadap penebangan pohon yang memiliki ketinggiannya mendekati jalur transmisi .

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan Alhamdulillah dan banyak-banyak berterimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, memberi semangat, kepada penulis dalam penelitian skripsi sebagai berikut:

1. Pertama yang paling utama saya ucapkan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, serta hidayah- Nya
2. Kedua Orang tua dan semua keluarga yang sering memberikan motivasi, semangat dan do'a untuk segera menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Ir. Jatmiko, M.T, sebagai dosen pembimbing yang sudah memberi ilmu dan saran terkait dengan skripsi.
5. Semua Dosen Teknik Elektro yang sudah membagikan ilmu selama perkuliahan.

6. PT PLN (Persero) APP Purwokerto Gardu Induk 150 kV Pekalongan dan Bapak Dwi Kresna selaku SPV di Gardu Induk 150 kV Pekalongan yang telah menyampaikan beberapa informasi yang dibutuhkan penulis, dan membimbing dalam proses pembuatan laporan skripsi.
7. Keluarga besar PAKYM Surakarta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya karena sudah memberikan semangat dan motivasi serta do'a selama mengerjakan skripsi.
8. Semua rekan-rekan Teknik Elektro angkatan 2015 yang telah memberikan semangat serta dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Nugroho, Wisnu Sri, 2017, "*Mengenal Sistem Tenaga Listrik*", Cetakan Pertama. Graha ilmu: Yogyakarta
- T, S. Hutahuruk, Prof, Ir, MSc. 1985. "*Transmisi Daya Listrik*". Erlangga: Jakarta.
- Stevenson, Jr, W.D, 1983, "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*", Edisi ke (4) empat, Erlangga, Jakarta, 1983.
- Arismunandar, A., Kuwahara, A. (2004), "*Saluran Transmisi*", jilid kedua. PT. Pradnya Paramita: Jakarta..
- Luces. M . (1996), "*Electric Power Distribution and Transmission*" Prantice Hall New- York
- Aslimeri, dkk, "*Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid ke 2*", Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan , Jakarta, 2008
- SPLN 121, 1996, "*Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 KV Dan 150 KV Dengan Tiang Baja/Beton*", PT. PLN (Persero): Jakarta
- Rooney, J.J, dan L.N.V. Heuvel. 2004. "*Root Cause Analysis for Beginners*". Quality Progress Discussion Board